

УДК. 330.35.011

С. О. Силантьєв, канд. техн. наук, доцент,
кафедра менеджменту
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕТЕРМІНОВАНОЇ СТРУКТУРИ ВАЛЮТНИХ РИНКІВ

У статті, на основі сучасної парадигми для дослідження динаміки складних процесів ціноутворення на валютному ринку, поняття фрактала за Б. Мандельбротом та хаосу за О. Шарковським, запропоновано методологічний підхід у визначенні детермінованої структури валютних пар за оцінками показника Харста. Проведено дослідження деяких валютних пар, визначено оцінки показника Харста та їх точність.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: валютна пара, статистична самоподібна структура, масштабно-інваріантна структура.

Вивчення моделей економічної динаміки у вигляді моделей попиту-пропозиції, бізнес циклів, довгострокових хвиль Кондратьєва має давню історію. Флуктуації поведінки економічної активності у цінах на споживчі товари, випуск, інфляцію тощо, які спостерігалися на ринку у процесі індустріалізації були цікавими проблемними науковими питаннями для видатних економістів XIX та XX сторіч [1—5]. Економічні теорії цього часу підкреслювали значення процесів кредитування, наявних економічних циклів, дисбалансу заощаджень, інвестицій та споживання [8, 9]. Сукупність результатів у цих напрямках дали стимули у розвитку ендогенних теорій економічного зростання. У сучасному розумінні під економічним зростанням мається на увазі тривала самопідтримка осциляцій економічної системи та нелінійні співвідношення між факторами, які є джерелом цього стану [8—10].

Теорії економічного зростання, джерело яких починалося з Кейнса, визначалися як «класична школа». Економічне зростання у теоріях класичної школи розглядалося в якості бізнес-циклів із значною кількістю проблем відносно економіки у цілому та кінцевого стану стабільної узагальненої рівноваги [9]. Цей стан рівноваги є рівновагою за Вальрасом з існуванням ключового припущення, пов'язаного з наявністю центрального аукціонера або

клірингового дома. Альтернативою теорії ендогенного економічного зростання були припущення, зроблені Р. Фрішем [1]. Згідно цієї теорії, моделлю економічного процесу є лінійна динамічна система з урівноваженим станом, але у якості екзогенних факторів виступають випадкові фактори, які представляються різними типами шумів (броунівським рухом) [1—5]. Досконалі версії такого підходу є робочими інструментами всіх сучасних теорій, що використовуються для моделювання економічних процесів [16—18]. На сьогодні сформувалися два підходи щодо моделювання динаміки складних економічних процесів: перший — із використанням нелінійних процесів та нестабільної рівноваги; другий — з використанням випадкових процесів зі стабільними узагальненими точками рівноваги. Вони є взаємодоповнюючими науковими напрямками дослідження динаміки економічних процесів. Обидва підходи використовують, з одного боку, просунуті розробки економічної теорії з різними типами економетричного тестування на основі визначених економічних факторів, а з іншого — досягнення нелінійної теорії динамічних систем для випадкових лінійних економічних моделей [12—24].

Ці підходи, у спрощеному варіанті, існували при створенні теорії динаміки ціноутворення фінансових ринків, ще на початку ХХ сторіччя. Піонерна робота Л. Башельє, який уперше запропонував модель ціноутворення звичайних акцій на основі флуктуацій щільності нормального закону розподілу, тривалий час ігнорувалася [3]. Тільки на початку 30 років ХХ сторіччя динаміка процесів ціноутворення активів стає актуальним напрямком наукових досліджень, який створив основи сучасного технічного аналізу, що сьогодні активно використовується, у тому чи іншому вигляді, усіма учасниками економічних відносин. П. Кутнер, у 70-х роках минулого сторіччя, у рамках наукової дискусії щодо систематичних змін у ціноутворенні фінансових активів, зробив висновок, що деякі систематичні зміни можуть бути поясненими відповідними бар'єрними моделями [4]. Проривним напрямком досліджень щодо емпіричного тестування широкого кола фінансових ринків, була робота Є. Фа-ми, який запропонував модель динаміки ціноутворення фінансових активів на основі виключно процесів випадкового блукання з урахуванням, так званої, гіпотези ефективного ринку — ЕМН (Effective Market Hypothesis) [5].

Мета статті — визначення принципової проблеми у ціноутворенні активів на валютному ринку, яка спростовує гіпотезу ефективного валютного ринку, та у визначенні класу процесів ціноут-

ворення на основі оцінювання відповідних характеристик — показників Харста.

На сьогодні стан досліджень фінансових ринків ведеться у бік від класичних безарбітражних моделей, де сучасними є моделі Нельсона-Зігеля, Свенссона, що в абсолютній більшості випадків використовуються національними банками розвинутих країн [24].

Науковий напрямок робіт щодо проведення аналізу нелінійних динамічних систем з використанням якісного підходу був започаткований А. Пуанкаре наприкінці XIX сторіччя [6]. Значний внесок у розробку теорії якісного аналізу динамічних систем зроблений А. Андроновим, Е. Леонтовичем, А. Майером, С. Хайкиним, О. Шарковським, надав можливість використання цих результатів для поглибленого аналізу динаміки економічних процесів, починаючи з робіт Р. Гудвина, Н. Калдора, М. Калєцького [7—10]. Однією з нових концепцій при ранньому аналізі динаміки систем, зокрема динаміки економічних систем, була концепція хаосу [11]. З поняттям хаосу зіткнувся ще А. Пуанкаре при проведенні досліджень неінтегрованих Гамільтонових систем, динаміка яких за припущенням ученого, повинна бути дуже складною при розмірності більше двох. Але тільки у подальших науково-практичних дослідженнях Г. Біркгофа, М. Картрайта, Дж. Літлвуда, С. Смейла, О. Шарковського та комп'ютерному моделюванні Е. Лоренца було знайдено, що природа динаміки процесів різної природи, має складні хаотичні феномени [12]. Хоча протягом чотирьох десятиріч проведено багато наукових досліджень у напрямку визначення різних типів хаосу і сьогодні використовуються поняття хаосу за Лі-Йорком, Блоком-Коппелом та Девані, природно концентрувати увагу на визначенні хаосу відповідно піонерних робіт академіка НАН України О.М. Шарковського [7, 13]. Поняття хаосу розглядається як наслідок динамічної невірноваженості систем: природних, складних, економічних. На думку бельгійського вченого, лауреата Нобелівської премії І. Пригожина поняття складності є центральним у теорії хаосу [23]. Новим у цій теорії стало давно забуте старе: хаос має не тільки руйнівну силу, але може стати джерелом певного порядку. Завдяки чому, вивчення динаміки економічних процесів, ціноутворення фінансових активів тощо, призводить до того, що використання будь-яких моделей повинно розглядатися крізь призму існування багатьох, а не єдиної точки рівноваги. Це є головним завданням майбутніх наукових досліджень процесів нелінійної економічної динаміки. Причому, необхідно враховувати сучасні наукові результати, так званої, концепції самоорганізованої кри-

тичності, у якій «...широке коло складних систем економічних систем, процесів ціноутворення фінансових активів природним чином еволюціонують до критичної стадії, де незначні події викликають ланцюгову реакцію, яка спроможна вплинути на значну кількість елементів системи» [12].

Складність динаміки ціноутворення будь-якого фінансового інструменту з використанням у якості моделі кінцево-різницевого рівняння (логістичного рівняння) у вигляді драбини Ламерея при визначеному постійному коефіцієнті, (вісь X) можна побачити на рис. 1. Біфуркаційна діаграма кінцевих значень у залежності від параметру α , представлена на рис. 2. Таким чином, аналізуючи динаміку найпростішої моделі, яку можна використати для опису нестационарних часових рядів, якими є абсолютна більшість економічних часових рядів, можна стверджувати, що навіть для цієї найпростішої моделі динаміка ціноутворення є дуже складною і на деяких відрізках параметрів моделі ($\alpha > 3,55$) — повністю не прогнозованою (рис. 2).

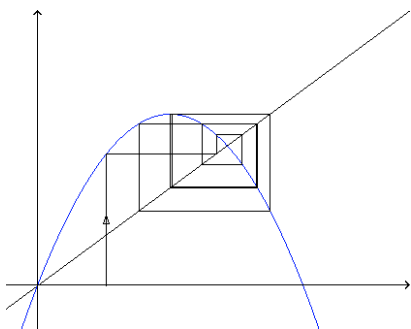


Рис. 1. Драбина Ламерея

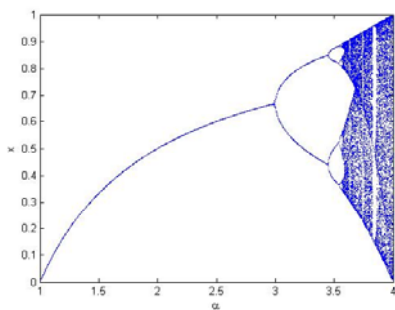


Рис. 2. Біфуркаційна діаграма

Значна складність феномена нелінійної динаміки у економічних процесах, фінансових ринках тощо, не є аргументом того, що випадкові блукання не є суттєвими при моделюванні економічної динаміки, які можуть розглядатися, з іншої точки зору, у якості сутності механізму нелінійної економічної динаміки.

Розробка нелінійних моделей з використанням символічних та чисельних комп'ютерних пакетів надає можливість дослідникам економічних процесів проводити аналіз та синтез складних моделей з урахуванням багатьох факторів. Такий підхід на основі узагальнених точок рівноваги, місць їх локальної стабільності та нестабільності, аналізу точок біфуркації та переходу до хаосу,

аналізу гомоклінічних та гетероклінічних орбіт з якісною апроксимацією часових інтервалів щодо ключових економічних факторів у цих точках, використання теорії поля та усереднення часових флуктуацій у моделі, є основним методологічним підходом сучасних монетарних теорій, економічного зростання, теорії податків, структури ринку праці тощо.

Сучасні удосконалені підходи щодо аналізу економічної динаміки вимагають використання нелінійного стохастичного аналізу для динаміки валютних курсів. Сьогодні добре відомо, що моделювання динаміки валютних курсів з використанням традиційних підходів (монетарного, портфельного, максимальної корисності) надає неадекватні результати при опрацюванні історичних часових рядів. Для поглибленого моделювання динаміки валютних курсів, у сучасних наукових дослідженнях нелінійно враховуються довгострокові економічні фактори (вони є основою коінтеграційних моделей), що дозволяють, наприклад, другим статистичним моментам бути нелінійними. Цей підхід привів Р. Енгла та Т. Боллерслева до створення широкого класу процесів на основі ARCH моделей: GARCH, FIGARCH, ARFIMA. Р. Енгл отримав Нобелівську премію 2003 року «за розробку метода аналізу часових рядів у економіці на основі математичної моделі з авто регресійною умовною гетероскедастичністю (ARCH)» [14, 15]. По суті, ці моделі є спрощеними нелінійними, з точки зору представлення складної динаміки ціноутворення, і уявляють собою альтернативну парадигму у напрямку адекватної інтерпретації в опрацюванні історичних часових рядів валютних курсів, з точки зору нелінійної динаміки їх волатильності. Чисельна кількість нелінійних моделей (або можуть бути інтерпретованими у якості нелінійних) щодо вивчення економічної динаміки валютних курсів з'явилася вже у середині 90-х років роботами Дж. Френкеля, К. Фрута, П. Кругмана, Ц. Ч Іарелли [2, 16—18]. Дослідженнями цих авторів встановлено, що нелінійна парадигма має значні переваги в інтерпретації сідлових точок у ціноутворенні, в порівнянні з традиційними моделями, тому що саме цей аспект раніше не задовольняв багатьох дослідників. У роботі Дж. Россера та Дж. Барклі проведено глибокий аналіз динаміки валютних курсів крізь призму нелінійної динаміки [19]. Широкий емпіричний аналіз нелінійної динаміки історичних часових рядів валютних курсів був проведений Б. Принцем, який досліджував їх експоненти Ляпунова, та Х. Крагером та П. Куглером, які налаштовували моделі типу SETAR до валютних курсів [20, 21].

Поглиблене використання моделей нелінійної економічної динаміки для аналізу валютних курсів, та ціноутворення інших фінансових активів, на думку С. Ішімура, повинно привести до створення узагальненої теорії макроекономічної динаміки. Сьогодні очевидно, що без використання програмного забезпечення моделей економічної динаміки зробити це неможливо [22]. Особливої актуальності проблеми вивчення динаміки у ціноутворенні валютних курсів набули після краху у 1971 році Бреттон-Вудської міжнародної системи організації грошових відносин та торговельних розрахунків на основі фіксованих валютних курсів. Ці дослідження широко використовуються в екзогенних теоріях економічного зростання, де динаміка ціноутворення валют приймається до уваги у якості одного з найважливіших факторів. Крім того, для досягнення власних макроекономічних цілей, активно використовується механізм цілеспрямування короткострокової відсоткової ставки рефінансування. У цьому випадку дуже багато факторів впливають на динаміку відсоткової ставки, ціноутворення валютних пар, тому визначення цих закономірностей та розуміння їх коінтеграційного впливу на фінансові ринки є дуже важливим. Для вирішення проблеми визначення класу процесів ціноутворення валютних пар на світовому фінансовому ринку використовується методологічний підхід, пов'язаний з визначенням показника Харста (ПХ) для валютних пар, який складається з наступних кроків:

1. Призначення A періодів аналізу часового ряду у валютної пари на основі ціни закриття, який дорівнює дільникам довжини періоду аналізу. Для робастості результатів розглядаються тільки ті періоди, які більші десяти.

2. Перетворимо часовий ряд x , потужністю M валютної пари у новий ряд, потужність якого є на одиницю менша за допомогою наступного правила: для часового ряду

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_M \quad (1)$$

побудуємо

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_{M-1}, \quad (2)$$

де

$$y_i = \lg(x_{i+1} / x_i), \quad i = 1, \dots, M-1. \quad (3)$$

3. Розподілення нового отриманого часового ряду ціноутворення валютної пари на суміжні I_a періодів A аналізу у кількості n , таких що

$$n \times A = M - 1, \quad a = 1, 2, \dots, A. \quad (4)$$

4. Визначення математичного сподівання для кожного періоду I_a за допомогою формули:

$$\bar{x}_a^* = \frac{1}{n} \sum_{j_a=1}^n x_{j_a}^*, \quad j_a = (a-1)n + 1, \dots, an. \quad (5)$$

5. Визначення для кожного періоду I_a діапазону відхилень за допомогою формули:

$$R_{I_a} = \max_{i \in I_a} x_i^* - \min_{i \in I_a} x_i^*, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

6. Визначення стандартного відхилення для кожного періоду I_a за допомогою формули:

$$S_{I_a} = \sigma_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (x_{i \in I_a}^* - \bar{x}_{I_a}^*)^2}. \quad (7)$$

7. Визначення нормованого розмаху як математичного сподівання для заданого розподілу на інтервали дослідження I_a :

$$E \left[R_{I_a} / S_{I_a} \right] = \frac{1}{A} \sqrt{\sum_{a=1}^A \left(R_{I_a} / S_{I_a} \right)}. \quad (8)$$

8. Визначення показника фрактальності валютної пари на основі рівняння:

$$\log(R/S)_n = \log(C) + H \times \log(n). \quad (9)$$

Результати визначення показника Харста для деяких валютних пар, які досліджувалися, представлені на рис. 3—12.

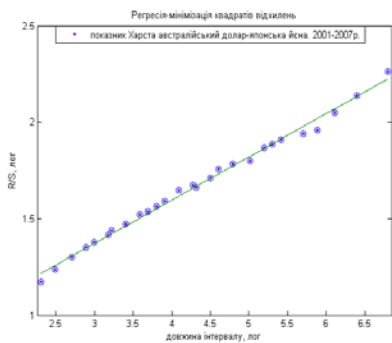


Рис. 3. ПХ австралійський долар — японська єна

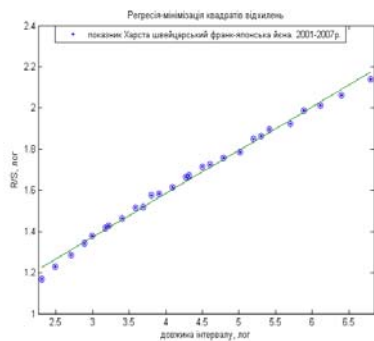


Рис. 4. ПХ швейцарський франк — японська єна

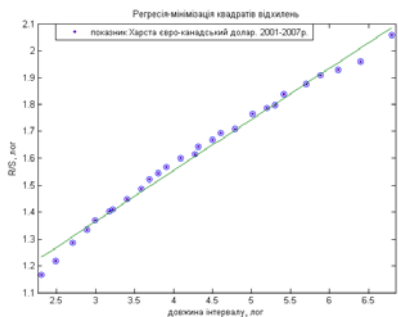


Рис. 5. ПХ євро — канадський долар

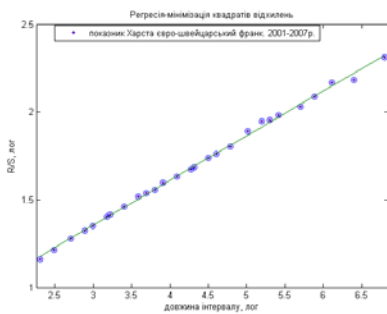


Рис. 6. ПХ євро — швейцарський франк

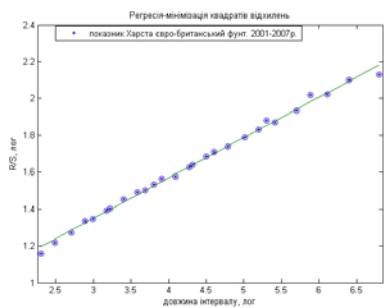


Рис. 7. ПХ євро — британський фунт

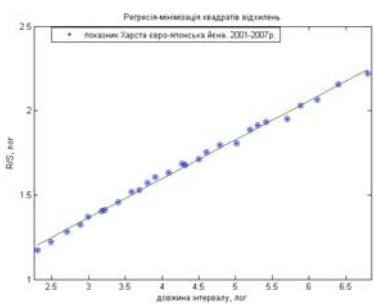


Рис. 8. ПХ євро — японська єна

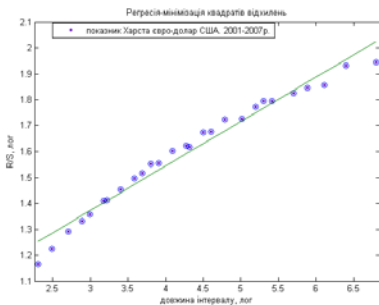


Рис. 9. ПХ евро — доллар США

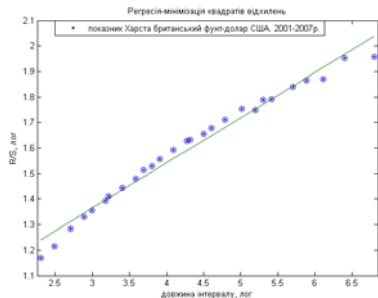


Рис. 10. ПХ британський фунт — доллар США

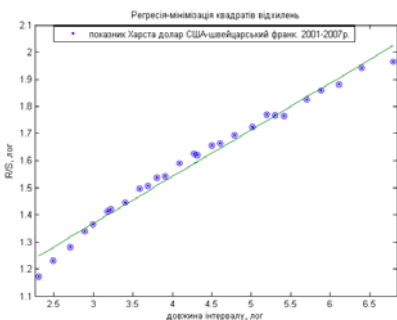


Рис. 11. ПХ доллар США — швейцарський франк

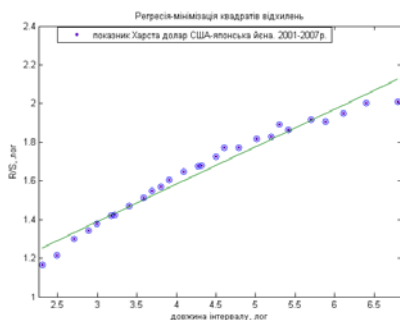


Рис. 12. ПХ доллар США — японська йена

З рис. 3—12 можна побачити, що лінійна апроксимація показника Харста є адекватною моделлю для оцінювання його значення.

Таким чином, поглиблений аналіз динаміки основних валютних пар за допомогою запропонованого алгоритму (1) — (9) та побудованої на його основі інформаційної технології з використанням методу нормованого розмаху для аналізу ціноутворення валютних пар, дає можливість визначити самоподібну статистичну структуру валютних пар, яка принципово відрізняється від аналізу динаміки часових рядів валютних пар при припущенні гіпотези ефективного ринку та використанні неокласичних та нових класичних економічних моделей ціноутворення.

Оцінки показника Харста, дисперсія оцінок та їх середньо квадратичне відхилення для валютних пар, які досліджувалися, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**ПОКАЗНИКИ ХАРСТА ДЛЯ ВАЛЮТНИХ ПАР
ТА ТОЧНІСТЬ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ**

Фінансовий ринок (2001—2008 рр.)	Показник Харста	$\log(C)$	Дисперсія показника Харста	Середньо квадратичне відхилення показника Харста	Точність визначення показника Харста (%)
Австралійський долар — японська єна	0,2236	0,7022	4,7882e-004	0,0219	0,214141
Австралійський долар — долар США	0,1885	0,7897	4,9509e-004	0,0223	0,262647
Швейцарський франк — японська єна	0,2110	0,7394	4,5674e-004	0,0214	0,216464
Євро — канадський долар	0,1900	0,7945	6,3474e-004	0,0252	0,334074
Євро — швейцарський франк	0,2549	0,5914	1,8140e-004	0,0135	0,071165
Євро — британський фунт	0,2194	0,6903	3,1658e-004	0,0178	0,144294
Євро — японська єна	0,2313	0,6713	3,2436e-004	0,0180	0,140233
Євро — долар США	0,1715	0,8582	0,0013	0,0366	0,758017
Британський фунт — швейцарський франк	0,2093	0,7280	3,2325e-004	0,0180	0,154443
Британський фунт — японська єна	0,2172	0,7443	8,6236e-004	0,0294	0,397035
Британський фунт — долар США	0,1774	0,8321	0,0011	0,0327	0,620068
Долар США — канадський долар	0,1972	0,7556	2,1714e-004	0,0147	0,110112
Долар США — швейцарський франк	0,1726	0,8506	8,2234e-004	0,0287	0,476443
Долар США — японська єна	0,1935	0,8083	0,0021	0,0455	1,085271
Срібло — долар США	0,2865	0,5280	6,8858e-004	0,0262	0,240342
Золото — долар США	0,2319	0,6964	7,1624e-004	0,0268	0,308857

З табл. 1 можна бачити, що помилка у визначенні показника Харста для наведених валютних пар знаходиться в інтервалі 0,07 % — 1,08 %, з максимальним значенням 1,08 % для دلار США — японська єна.

У статті запропоновано методологічний підхід у визначенні детермінованої структури валютних пар на основі оцінок показника Харста. На основі запропонованого алгоритму створена інформаційна система оцінювання показника Харста для валютних пар світу. Максимальна помилка у визначенні показника Харста дорівнює 1,08 %, але для абсолютної більшості досліджених валютних пар помилка у визначенні показника Харста знаходиться у інтервалі 0,07 % — 0,75 %.

Література

1. *Frisch R.* Propagation Problems and Impulse Problem in Dynamic Economics. In Essay in Honor of Gustav Cassell, Allen and Unwin, London, 1933
2. *Froot K., Obstfeld M.* Exchange Rate Dynamics under Stochastic Regime Shifts: A Unified Approach. NBER WP, № 2835, February 1989. — P. 1—28.
3. *Bachelier L.* Th'eorie de la Sp'eculation, Annales de leEcole Normale Superieure, Series 3, 17, 1900, — P. 21—86.
4. *Cootner P. H.* Stock Prices: Random vs. Systematic Changes. Industrial Management Review, Spring 1962. — P. 24—45.
5. Fama, E. F. The Behavior of Stock Market Prices. Journal of Business, 38, 1965. — P. 34—105.
6. *Poincare H.* Les Methods Nouvelles de la Mecanique Celeste, 3 Vol., Gauthier-Villars, Paris, 1899. (Пуанкаре А. Избранные труды в трех томах. Том. I. Новые методы небесной механики. — М.: Наука, 1971. — 773 с.)
7. *Шарковский А. Н.* Сосуществование циклов непрерывного отображения прямой в себя // Укр. мат. журн. — 1964. — № 1. — С. 61—71.
8. *Goodwin R. M.* A Nonlinear Theory of the Cycle. Review of Economic Statistics, XXXII, 4, 1950. — P. 316—320.
9. *Kaldor N.* A Model of the Trade Cycle. Economic Journal, 50, 1940. — P. 78—92.
10. *Kalecki M.* A Macroeconomic Theory of Business Cycles. Econometrica, 3, 1935. — P. 327—344.

11. *Mandelbrot B. B.* The Fractal Geometry of Nature. — New York: Freeman, 1982. (Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Пер. с англ. — М.: Институт компьютерных исследований. 2002. — 656 с.)
12. *Puu T.* Nonlinear Economic Dynamic. — Forth comp. rev. and enl. ed. — Berlin; NewYork, Springer, 1977. — 288 p.
13. *Aulbach B., Kieninger B.* On Three Definitions of Chaos. Nonlinear Dynamics and Systems Theory, 1(1), 2001. — P. 23—37.
14. *Engle R. F.* Autoregressive Conditional Heteroskedsticity with Estimates of the Variance of UK Inflation. Econometrica, 50(4), 1982. — P. 987—1007.
15. *Bollerslev T.* Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31, 1986. — P. 307—327.
16. *Frankel J. A., Froot K. A.* Understanding the US Dollar in the eighties: The Expectations of Chartists and Fundamentalists. Economic Record, Special Issue on Exchange Rates and the Economy, 1986. — P. 24—38.
17. *Krugman P.* Deindustrialization, Reindustrialization, and the Real Exchange Rate. NBER WP, №2586, February 1988. — P. 1—32.
18. *Chiarella C.* Excessive Exchange Rate Variability — A Possible Explanation Using Nonlinear Economic Dynamics. European Journal of Political Economy, 6, 1990. — P. 315—352.
19. *Rosser J., Barkley Jr.* From Catastrophe to Chaos: A General Theory of Economic Discontinuity. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 1991. — 322p.
20. *Prince B.* An Investigation of Modelling Foreign Exchange Rates with a Nonlinear Chaotic Attractor Algorithm. PhD Thesis, University of Texas at Austin, 1987. — P. 1—173.
21. *Krager H., Kugler P.* Nonlinearities in Foreign Exchange Markets: A Different Perspective. Paper presented at European Meeting of the Econometric Society, Cambridge, September 2—6, 1991. — P. 1—23.
22. *Ishimura S.* Towards a General Nonlinear Macroeconomic Theory of Economic Fluctuation. Ch.8 in K. Kurihari (ed.), Post Keynesian Economics, New Jersey: Rutgers University Press, 1955. — P. 1—73.
23. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. / Общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича и Ю. В. Сачкова. — М.: Прогресс, 1986. — 432 с.
24. *Nelson, C. R., Siegel A. F.* Parsimonious Modeling Of Yield Curves, Journal of Business, 60, 1987. — P. 473—489.

Статтю подано в редакцію 27.03.09 р.